

PCT/JP00/05875

JP00/5875

30.08.00

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

REC'D 20 OCT 2000

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application:

2000年 5月24日

E.KU

出 願 番 号
Application Number:

特願2000-153320

出 願 人
Applicant (s):

株式会社ニコン

09/831345

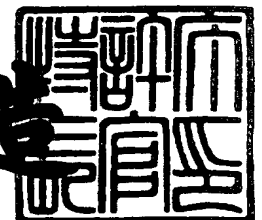
PRIORITY
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2000年10月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3080949

【書類名】 特許願
 【整理番号】 00-00553
 【あて先】 特許庁長官殿
 【国際特許分類】 H01L 21/027
 【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコ

ン内

【氏名】 大槻 朋子

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社 ニコン

【代理人】

【識別番号】 100102901

【弁理士】

【氏名又は名称】 立石 篤司

【電話番号】 042-739-6625

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 053132

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光源装置、露光装置、露光装置の製造方法、及びデバイス製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 希土類元素が添加されたフォスフェイトガラスを主材とする光導波路部材を含み、入射光を増幅する光増幅器と；

前記光増幅器から射出された光の波長を変換する波長変換器と；を備える光源装置。

【請求項 2】 前記光導波路部材は、光を導波するコアと、前記コアの周囲に設けられたクラッドとを有する光ファイバであることを特徴とする請求項 1 に記載の光源装置。

【請求項 3】 前記光ファイバは直線状に敷設されることを特徴とする請求項 2 に記載の光源装置。

【請求項 4】 前記光増幅器は、少なくとも前記光ファイバを収納する容器を更に含むことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の光源装置。

【請求項 5】 前記波長変換器は、波長変換を行う少なくとも 1 つの非線形光学結晶を含むことを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 6】 露光光を基板に照射して所定のパターンを形成する露光装置において、前記露光光の波長を含む所定幅の波長帯に属する波長の光を発生する光源装置として請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の光源装置を備える露光装置。

【請求項 7】 前記光源装置は、200nm以下の波長の前記露光光を発生することを特徴とする請求項 6 に記載の露光装置。

【請求項 8】 露光光を、光学系を介して基板に照射して所定のパターンを形成する露光装置の製造方法において、

前記光学系の特性の調整を、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の光源装置が発生した前記露光光の波長を含む所定幅の波長帯に属する波長の光を使用して行うことを特徴とする露光装置の製造方法。

【請求項 9】 リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法において、
前記リソグラフィ工程では、請求項 6 又は 7 に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光源装置、露光装置、露光装置の製造方法、及びデバイス製造方法に係り、より詳しくは所望の波長の光を射出する光源装置、該光源装置を備えた露光装置、本発明の光源装置が発生した光を使用する露光装置の製造方法、及び本発明の露光装置を利用したデバイスの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、半導体素子（集積回路）、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、種々の露光装置が用いられている。近年では、この種の露光装置としては、フォトマスク又はレチクル上に形成された微細回路パターンを、表面にフォトレジストが塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に投影光学系を介して縮小投影し、転写する、いわゆるステッパあるいはいわゆるスキヤニング・ステッパ等の縮小投影露光装置が、高いスループットを有する点から主流となっている。

【0003】

しかるに、投影露光装置等の露光装置では、高スループットとともに高い解像力（解像度）が要請される。投影露光装置の解像力 R 、焦点深度 DOF は、露光用照明光の波長 λ 、投影光学系の開口数 $N.A.$ を用いて、

$$R = K \cdot \lambda / N.A. \quad \dots\dots (1)$$

$$DOF = \lambda / 2 (N.A.)^2 \quad \dots\dots (2)$$

によってそれぞれ表される。

【0004】

上記の式（1）から明らかなように、解像力 R 、すなわち解像できる最小パターン線幅をより小さくするために、（a）比例定数 K を小さくする、（b） $N.A.$

A. を大きくする、(c) 露光用照明光の波長 λ を小さくする、の3つの方法が考えられる。ここで、比例定数Kは投影光学系やプロセスによって決まる定数であり、通常0.5~0.8程度の値をとる。この定数Kを小さくする方法は、広い意味での超解像と呼ばれている。今までに、投影光学系の改良、変形照明、位相シフトレチクルなどが提案、研究されてきた。しかし、適用できるパターンに制限があるなどの難点があった。

【0005】

一方、開口数N. A. は式(1)からその値が大きいほど解像力Rを小さくできるが、このことは同時に式(2)から明らかなように焦点深度DOFが浅くなってしまうことを意味する。このため、N. A. 値は大きくするにも限界があり、通常は0.5程度が適当とされている。

【0006】

従って、解像力Rを小さくする最も単純かつ有効な方法は、露光用照明光の波長 λ を小さくすることである。

【0007】

かかる理由により、ステッパ等としては紫外域の輝線(g線、i線等)を出力する超高圧水銀ランプを露光用光源とするg線ステッパ、i線ステッパが従来主として用いられていたが、近年ではより短波長のKrFエキシマレーザ光(波長248nm)を出力するKrFエキシマレーザを光源とするKrFエキシマレーザ・ステッパが主流となりつつある。現在ではさらに短波長の光源としてArFエキシマレーザ(波長193nm)を使用する露光装置の開発が進められている。しかしながら、上述したエキシマレーザは大型であること、有毒なフッ素ガスを使用するためレーザのメンテナンスが煩雑でかつ費用が高額となるなどの、露光装置の光源として不利な点が存在する。

【0008】

そこで、非線形光学結晶の非線形光学効果を利用して、長波長の光(赤外光、可視光)をより短波長の紫外光に変換し、こうして得られた紫外光を露光光として使用する方法が注目されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

上述のような非線形光学結晶を使用する方法では、現在利用可能な非線形光学結晶の非線形光学効果の発生効率が高いとはいえないため、十分な強度の波長変換光を得るためには、高強度の光を非線形光学結晶に照射することが必要となる。このため、半導体レーザ出力等のレーザ発振源から射出されたレーザ光を、エルビウム (Er) 等の希土類元素がドープされた光ファイバを増幅用ファイバとして含むファイバ増幅器で増幅して非線形光学結晶に照射することが考えられる。しかし、現状におけるファイバ増幅器では、十分な増幅率を得るためには長い増幅用ファイバが必要であり、小型化が困難であった。また、長い増幅用ファイバを使用するので、誘導ラマン散乱や自己位相変調によるスペクトルの広がりが大きなものとなっていた。

【0010】

また、非線形光学結晶を使用して、非線形光学効果により2倍高調波等を効率良く発生させるためには、非線形光学結晶の結晶方向に応じた特定の方向の直線偏光を非線形光学結晶に入射させることが必要である。しかし、長い増幅用ファイバの敷設にあたって円状に増幅用ファイバを巻くことになるが、このときに増幅用ファイバに発生する非対称な径方向の応力等の効果によって、増幅用ファイバに入射した偏光状態が出力端で保持されるとは限らない。このため、波長変換効率を最適化するためには、偏波制御等の機構を付加する必要があった。

【0011】

本発明は、上記の事情のもとでなされたものであり、その第1の目的は、簡単な構成で所定の波長の光を効率良く発生することができる光源装置を提供することにある。

【0012】

また、本発明の第2の目的は、効率的に精度良く所定のパターンを基板に形成することができる露光装置及びその製造方法を提供することにある。

【0013】

また、本発明の第3の目的は、高集積度及び高性能のデバイスを効率良く製造することができるデバイス製造方法を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明の光源装置は、希土類元素が添加されたフォスフェイトガラスを主材とする光導波路部材（175）を含み、入射光を増幅する光増幅器（167）と；前記光増幅器から射出された光の波長を変換する波長変換器（163）と；を備える光源装置である。

【0015】

これによれば、シリカガラスを主材とし、希土類元素が添加された、従来の増幅用ファイバ等のような光導波路部材に代えて、フォスフェイトガラスを主材とし、高密度に希土類元素が添加された光導波路部材を使用するので、短い長さの光導波路部材によって高い増幅率で入射光を増幅することができる。このため、光導波路部材を経由することによって発生する偏光状態の変化を低減しつつ、高輝度の光を波長変換器に供給することができる。また、増幅にあたって光が経由する経路の長さが短くなるので、誘導ラマン散乱や自己位相変調によるスペクトルの広がりも抑制することができる。したがって、簡易な構成で狭帯域の波長変換光を効率良く発生することができる。

【0016】

本発明の光源装置では、前記光導波路部材を、光を導波するコアと、前記コアの周囲に設けられたクラッドとを有する光ファイバ（175）とする構成とすることができる。また、この光ファイバは、2重クラッド構造を持つダブル・クラッド・ファイバの構造でもよい。かかる場合には、光の引き回しに使用される伝搬用ファイバとの接続等が容易となり、より簡易に光源装置を実現できる。

【0017】

ここで、前記光ファイバを直線状に敷設することができる。かかる場合には、偏光状態の変化の原因となる径方向の応力の非対称性の発生を防止することができるので、入射時の偏光状態を維持した出力光を得ることができる。

【0018】

また、前記光増幅器が、少なくとも前記光ファイバを収納する容器（176）を更に含む構成とすることができる。かかる場合には、偏光状態の変化の原因と

なる増幅用ファイバの周囲環境の変化を防止することができるので、安定した波長変換を行うことができる。

【0019】

本発明の光源装置では、前記波長変換器が、入射光の波長変換を行う少なくとも1つの非線形光学結晶（183，186，187，193，196）を含む構成とすることができる。かかる場合には、非線形光学結晶に、光増幅器から射出された高輝度の光を照射することにより、高出力の波長変換光を得ることができる。

【0020】

本発明の露光装置は、露光光を基板に照射して所定のパターンを形成する露光装置において、前記露光光の波長を含む所定幅の波長帯に属する波長の光を発生する光源装置として本発明の光源装置（16）を備える露光装置である。

【0021】

本発明の露光装置では、前記光源装置が200nm以下の波長の前記露光光を発生する構成とすることができる。かかる場合には、波長スペクトルの広がり小さな露光光を本発明の光源装置によって発生することにより、精度の良い基板の露光を効率良く行うことができ、200nm以下という短い波長に応じた微細なパターンを精度良く基板に形成することができる。

【0022】

なお、本発明の露光装置が所定のパターンが形成されたマスクを有し、光学系を介して基板を露光するときには、露光光とほぼ同一の波長の光が使用されるマスクの位置検出にあたって本発明の光源装置を使用することにより、当該位置検出の光を効率良く供給することが可能となる。

【0023】

本発明の露光装置の製造方法は、露光光を、光学系を介して基板に照射して所定のパターンを形成する露光装置の製造方法において、前記光学系の特性の調整を、本発明の光源装置が発生した前記露光光の波長を含む所定幅の波長帯に属する波長の光を使用して行うことを特徴とする露光装置の製造方法である。これによれば、露光にあたって露光光が介する光学系の特性の調整を、精度良くかつ簡

易に行うことができる。

【 0 0 2 4 】

本発明のデバイス製造方法は、リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法において、前記リソグラフィ工程では、本発明の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法である。これによれば、高集積度で高性能のデバイスを、効率良く製造することができる。

【 0 0 2 5 】

【発明の実施の形態】

図 1 には、本発明に係る光源装置を含んで構成された一実施形態に係る露光装置 1 0 の概略構成が示されている。この露光装置 1 0 は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置である。

【 0 0 2 6 】

この露光装置 1 0 は、光源装置 1 6 及び照明光学系 1 2 から成る照明系、この照明系からの露光用照明光（以下、「露光光」という）I L により照明されるマスクとしてのレチクル R を保持するレチクルステージ R S T、レチクル R から射出された露光光 I L を基板としてのウエハ W 上に投射する投影光学系 P L、ウエハ W を保持する Z チルトステージ 5 8 が搭載された X Y ステージ 1 4、及びこれらの制御系等を備えている。

【 0 0 2 7 】

前記光源装置 1 6 は、例えば、波長 1 9 3 n m (A r F エキシマレーザ光とほぼ同一波長) の紫外パルス光、あるいは波長 1 5 7 n m (F₂レーザ光とほぼ同一波長) の紫外パルス光を出力する高調波発生装置である。この光源装置 1 6 は、前記照明光学系 1 2、レチクルステージ R S T、投影光学系 P L、Z チルトステージ 5 8、X Y ステージ 1 4 及びこれら各部が搭載された不図示の本体コラム等から成る露光装置本体とともに、温度、圧力、湿度等が高精度に調整されたエンバイロンメンタル・チャンバ（以下、「チャンバ」という）1 1 内に収納されている。

【 0 0 2 8 】

図 2 には、光源装置 1 6 の内部構成が装置全体を統括制御する主制御装置 5 0

とともにブロック図にて示されている。この図2に示されるように、光源装置16は、光源部16A、レーザ制御装置16B、及び光量制御装置16C等を含んで構成されている。

【0029】

前記光源部16Aは、パルス光発生部160、光増幅部161、波長変換器163、ビームモニタ機構164及び吸収セル165等を含んで構成されている。

【0030】

前記パルス光発生部160は、レーザ光源160A、光カップラBS1、BS2、光アイソレータ160B及び光変調器としての電気光学変調器（以下、「EOM」という）160C等を有する。なお、レーザ光源160Aから波長変換器163までの間の各要素間は、光ファイバ等によって光学的に接続されている。

【0031】

前記レーザ光源160Aとしては、ここでは、単一波長発振レーザ、例えば、発振波長1.544 μm 、連続波出力（以下「CW出力」という）20mWのInGaAsP、DFB半導体レーザが用いられている。以下においては、レーザ光源160Aを適宜「DFB半導体レーザ160A」とも呼ぶものとする。

【0032】

なお、DFB半導体レーザは、通常、ヒートシンクの上に設けられ、これらが筐体内に収納されている。本実施形態では、DFB半導体レーザ160Aに付設されるヒートシンク上に温度調整器（例えばペルチェ素子など）が設けられており、レーザ制御装置16Bがその温度を制御することにより発振波長が制御（調整）可能な構成となっている。

【0033】

前記光カップラBS1、BS2としては、透過率が97%程度のものが用いられている。このため、DFB半導体レーザ160Aからのレーザ光は、光カップラBS1によって2つに分岐され、その97%程度が次段の光カップラBS2に向かって進み、残り3%程度がビームモニタ機構164に入射する。また、光カップラBS2に入射したレーザ光は光カップラBS2によって分岐され、その97%程度が次段の光アイソレータ160Bに向かって進み、残り3%程度が吸収

セル 1 6 5 に入射するようになっている。

【 0 0 3 4 】

なお、ビームモニタ機構 1 6 4、吸収セル 1 6 5 等については、後に更に詳述する。

【 0 0 3 5 】

前記光アイソレータ 1 6 0 B は、光カップラ B S 2 から E O M 1 6 0 C に向かう方向の光のみを通過させ、反対向きの光の通過を阻止する。この光アイソレータ 1 6 0 B により、反射光（戻り光）に起因する D F B 半導体レーザ 1 6 0 A の発振モードの変化や雑音の発生等が防止される。

【 0 0 3 6 】

前記 E O M 1 6 0 C は、光アイソレータ 1 6 0 B を通過したレーザ光（C W 光（連続光））をパルス光に変換するためのものである。E O M 1 6 0 C としては、屈折率の時間変化に伴うチャープによる半導体レーザ出力の波長広がり小さくなるように、チャープ補正を行った電極構造を持つ電気光学変調器（例えば二電極型変調器）が用いられている。E O M 1 6 0 C は、光量制御装置 1 6 C から印加される電圧パルスに同期して変調されたパルス光を出力する。例えば、E O M 1 6 0 C により D F B 半導体レーザ 1 6 0 A で発振されたレーザ光がパルス幅 1 n s、繰り返し周波数 1 0 0 k H z（パルス周期約 1 0 μ s）のパルス光に変調する。なお、繰り返し周波数は、ファイバ増幅器における A S E（Amplified Spontaneous Emission, 自然放出光）ノイズの影響を抑制できる値が選択される。

【 0 0 3 7 】

なお、E O M 1 6 0 C への印加電圧と D F B 半導体レーザ 1 6 0 A への供給電流制御とを併用して、出力光のパルス化を行うことが望ましい。かかる場合には、消光比を向上することができる。このようにすれば、E O M 1 6 0 C のみを用いる場合に比べて、消光比を向上しつつ、パルス幅が狭いパルス光を容易に発生させることが可能になるとともに、パルス光の発振間隔や発振の開始及びその停止などをより簡単に制御することが可能になる。また、E O M 1 6 0 C に代えて、音響光学光変調素子（A O M）を用いることも可能である。

【0038】

前記光増幅部161は、EOM160Cからのパルス光を増幅するもので、図3に示されるように、EOM160Cからのパルス光を時間順に周期的に振り分けて分岐（例えば、128分岐）する光分岐器166と、複数の光増幅器としてのファイバ増幅器167とを含んで構成されている。

【0039】

図3に示されるように、ファイバ増幅器167は、直線敷設された光導波路部材としての増幅用ファイバ175、ポンプ光を発生する励起用半導体レーザ178、上述のEOM160Cの出力光とポンプ光とを合成し、こうして得られた合成光を増幅用ファイバ175に供給する波長分割多重化装置（Wavelength Division Multiplexer:WDM）179を備えている。そして、増幅用ファイバ175及びWDM179は容器176に収納されている。

【0040】

前記増幅用ファイバ175は、フォスフェイトガラスを主材とし、コアとクラッドを有し、コアにEr、あるいはErとYbとの2種のイオンが高密度にドープされた光ファイバが用いられる。かかるフォスフェイトガラス光ファイバには、従来のシリカガラス光ファイバよりも高密度でEr等の希土類元素をドープすることができ、同一の光増幅率を得るために必要なファイバ長が従来のシリカガラス光ファイバの1/100程度となる。たとえば、従来は数m～数10mの長さとなっていたものが、数cm～数10cm程度の長さで足りる。このため、増幅用ファイバ175では直線状敷設が可能となっており、本実施形態においても不図示の基材表面（平面）に形成された直線状のV溝に増幅用ファイバ175を敷設ことにより、直線状敷設を行っている。なお、増幅用ファイバ175には、2重クラッド構造を持つダブル・クラッド・ファイバの構造を採用するが可能である。

【0041】

以上のように構成されたファイバ増幅器167において、増幅用ファイバ175に、励起用半導体レーザ178が発生したポンプ光がWDM179を介して供給された状態で、WDM179を介してパルス光が入射し増幅用ファイバ175

のコア中を進行すると、誘導放射が発生し、パルス光が増幅される。かかる光増幅にあたって、増幅用ファイバ175は従来のものより非常に短く、かつ、高い増幅率を有するので、入射時のパルス光の偏光状態をほぼ維持しつつ、高輝度のパルス光が出力される。また、増幅用ファイバ175の長さが非常に短いため、誘導ラマン散乱や自己位相変調によるスペクトルの広がりも小さなものとなっている。

【0042】

すなわち、フォスフェイトガラスを用いて、従来のシリカガラスに比べて100倍高密度のErをドープする場合、従来のシリカガラスよりも、誘導ラマン散乱が起こる閾値を決める要因の1つであるラマン利得係数 (Raman Gain 係数) が2倍程度となっているが、この分を考慮してもシリカガラスの場合よりも50倍程度の強度の光を出力することができる。また、単位長さ当たりの増幅率を100倍程度にできるので、同一の増幅率を得るのに必要なファイバ長を100分の1程度にすることができる。さらに、誘導ラマン散乱のしきい値はファイバ長に反比例すると試算できるので、ファイバ長を100分の1にすることで、ラマン散乱の影響を受けずに100倍程度の強度の光を出力できる。

【0043】

また、自己位相変調によるスペクトルの広がり増幅用ファイバ175の長さにはほぼ比例するが、増幅用ファイバ175の長さは従来のものよりも非常に短いので、自己位相変調によるスペクトルの広がりも従来と比べて十分に小さく抑制することができる。

【0044】

したがって、本実施形態のファイバ増幅器167では、従来よりも高強度であり、かつ、スペクトルの広がりも小さな増幅光を得ることができる。このため、効率良く狭帯域の光を得ることができる。

【0045】

また、増幅用光ファイバ175が直線状に敷設されており、かつ、ほぼ密閉構造の容器176に収納され、増幅用光ファイバ175の周囲環境がほぼ一定に維持されているので、入射時の偏光状態をほぼ維持した出力光が得られる。

【0046】

前記励起用半導体レーザ178は、DFB半導体レーザ160Aにおける発振波長よりも短い波長（例えば、980nm）の光をポンプ光として発生する。このポンプ光がWDM179を介して増幅用ファイバ175に供給され、それによりErが励起され、いわゆるエネルギー準位の反転分布が発生する。なお、後述するように、~~励起用半導体レーザ178は、光量制御装置16Cによって制御されるようになっている。~~

【0047】

また、本実施形態では、各ファイバ増幅器167のゲインの差を抑制するため、ファイバ増幅器167で出力の一部が分岐され、それぞれの分岐端に設けられた光電変換素子171によってそれぞれ光電変換されるようになっている。これらの光電変換素子171の出力信号が光量制御装置16Cに供給されるようになっている。

【0048】

光量制御装置16Cでは、各ファイバ増幅器167からの光出力が一定になるように（即ちバランスするように）、各励起用半導体レーザ178のドライブ電流をフィードバック制御するようになっている。

【0049】

さらに、本実施形態では、図3に示されるように、波長変換器163の途中でビームスプリッタにより分岐された光が光電変換素子172によって光電変換され、該光電変換素子172の出力信号が光量制御装置16Cに供給されるようになっている。光量制御装置16Cでは、この光電変換素子172の出力信号に基づいて波長変換器163における光強度をモニタし、波長変換器163からの光出力が所定の光出力となるように、励起用半導体レーザ178のドライブ電流をフィードバック制御している。

【0050】

このような構成とすることにより、各ファイバ増幅器167の増幅率が一定化されるため、各ファイバ増幅器167間に偏った負荷がかかることがなく全体として均一な光強度が得られる。また、波長変換器163における光強度をモニタ

することにより、予定される所定の光強度をフィードバックし、所望の紫外光出力を安定して得ることができる。

【 0 0 5 1 】

前記波長変換器 1 6 3 は、複数の非線形光学結晶を含み、前記増幅されたパルス光（波長 $1.544\ \mu\text{m}$ の光）をその 8 倍高調波に波長変換して、A r F エキシマレーザと同じ出力波長（~~193 nm~~）のパルス紫外光を発生する。

【 0 0 5 2 】

図 4 には、この波長変換器 1 6 3 の構成例が示されている。ここで、この図に基づいて波長変換器 1 6 3 の具体例について説明する。なお、図 4 には、光増幅部 1 6 1 から射出される波長 $1.544\ \mu\text{m}$ の基本波を、非線形光学結晶を用いて 8 倍波（高調波）に波長変換して、A r F エキシマレーザと同じ波長である $193\ \text{nm}$ の紫外光を発生する構成例を示す。

【 0 0 5 3 】

図 4 の波長変換器 1 6 3 では、基本波（波長 $1.544\ \mu\text{m}$ ）→ 2 倍波（波長 $772\ \text{nm}$ ）→ 3 倍波（波長 $515\ \text{nm}$ ）→ 4 倍波（波長 $386\ \text{nm}$ ）→ 7 倍波（波長 $221\ \text{nm}$ ）→ 8 倍波（波長 $193\ \text{nm}$ ）の順に波長変換が行われる。

【 0 0 5 4 】

これを更に詳述すると、光増幅部 1 6 1 から出力される波長 $1.544\ \mu\text{m}$ （周波数 ω ）の基本波は、1 段目の非線形光学結晶 1 8 3 に入射する。基本波がこの非線形光学結晶 1 8 3 を通る際に、2 次高調波発生により基本波の周波数 ω の 2 倍、すなわち周波数 2ω （波長は $1/2$ の $772\ \text{nm}$ ）の 2 倍波が発生する。

【 0 0 5 5 】

この 1 段目の非線形光学結晶 1 8 3 として、 LiB_3O_5 （LBO）結晶が用いられ、基本波を 2 倍波に波長変換するための位相整合に LBO 結晶の温度調節による方法、NCPM（Non-Critical Phase Matching）が使用される。NCPM は、非線形光学結晶内での基本波と第二高調波との角度ずれ（Walk-off）が起こらないため高効率で 2 倍波への変換を可能にし、また発生した 2 倍波は Walk-off によるビームの変形も受けないため有利である。

【 0 0 5 6 】

非線形光学結晶 183 で波長変換されずに透過した基本波と、波長変換で発生した 2 倍波とは、次段の波長板 184 でそれぞれ半波長、1 波長の遅延が与えられて、基本波のみその偏光方向が 90 度回転し、2 段目の非線形光学結晶 186 に入射する。2 段目の非線形光学結晶 186 として LBO 結晶が用いられるとともに、その LBO 結晶は 1 段目の非線形光学結晶 (LBO 結晶) 183 とは温度が異なる NCPM で使用される。この非線形光学結晶 186 では、1 段目の非線形光学結晶 183 で発生した 2 倍波と、波長変換されずにその非線形光学結晶 183 を透過した基本波とから和周波発生により 3 倍波 (波長 515 nm) を得る。

【0057】

次に、非線形光学結晶 186 で得られた 3 倍波と、波長変換されずにその非線形光学結晶 186 を透過した基本波および 2 倍波とは、ダイクロイック・ミラー 187 により分離され、ここで反射された 3 倍波は集光レンズ 190、及びダイクロイック・ミラー 193 を通って 4 段目の非線形光学結晶 195 に入射する。一方、ダイクロイック・ミラー 187 を透過した基本波および 2 倍波は、集光レンズ 188 を通って 3 段目の非線形光学結晶 189 に入射する。

【0058】

3 段目の非線形光学結晶 189 としては LBO 結晶が用いられ、基本波が波長変換されずにその LBO 結晶を透過するとともに、2 倍波が LBO 結晶で 2 次高調波発生により 4 倍波 (波長 386 nm) に変換される。非線形光学結晶 189 で得られた 4 倍波とそれを透過した基本波とは、ダイクロイック・ミラー 191 により分離され、ここを透過した基本波は集光レンズ 194 を通るとともに、ダイクロイック・ミラー 196 で反射されて 5 段目の非線形光学結晶 198 に入射する。一方、ダイクロイック・ミラー 191 で反射された 4 倍波は、集光レンズ 192 を通ってダイクロイック・ミラー 193 に達し、ここでダイクロイック・ミラー 187 で反射された 3 倍波と同軸に合成されて 4 段目の非線形光学結晶 195 に入射する。

【0059】

4 段目の非線形光学結晶 195 としては、 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (BBO) 結晶が用

いられ、3倍波と4倍波とから和周波発生により7倍波（波長221nm）を得る。非線形光学結晶195で得られた7倍波は集光レンズ197を通るとともに、ダイクロイック・ミラー196で、ダイクロイック・ミラー191を透過した基本波と同軸に合成されて、5段目の非線形光学結晶198に入射する。

【0060】

5段目の非線形光学結晶198としてLBO結晶が用いられ、基本波と7倍波とから和周波発生により8倍波（波長193nm）を得る。上記構成において、7倍波発生用BBO結晶195、及び8倍波発生用LBO結晶198のかわりに、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ （CLBO）結晶あるいは $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ （LB4）結晶を用いることも可能である。

【0061】

なお、上記図4に示される波長変換器163は一例であって、本発明の波長変換器の構成や非線形光学結晶の材料、出力波長などがこれに限定されないことは勿論である。例えば、光増幅部161から射出される波長1.57 μm の基本波を非線形光学結晶を用いて10倍波の高調波発生を行い、 F_2 レーザと同じ波長である157nmの紫外光を発生することにしてもよい。

【0062】

図2に戻り、前記ビームモニタ機構164は、ここではファブリペロー・エタロン（Fabry-Perot etalon：以下、「エタロン素子」ともいう）及びフォトダイオード等の光電変換素子から成るエネルギーモニタ（いずれも図示省略）から構成されている。ビームモニタ機構164を構成するエタロン素子に入射した光は、エタロン素子の共鳴周波数と入射光の周波数との周波数差に対応した透過率で透過され、この時の透過光強度を検出したフォトダイオード等の出力信号がレーザ制御装置16Bに供給される。レーザ制御装置16Bではこの信号に所定の信号処理を施すことにより、ビームモニタ機構164、具体的にはエタロン素子に対する入射光の光学特性に関する情報（具体的には、入射光の中心波長及び波長幅（スペクトル半値幅）等）を得る。そして、この光学特性に関する情報は、リアルタイムで主制御装置50に通知される。

【0063】

また、ビームモニタ機構 1 6 4 を構成するエネルギーモニタの出力は、主制御装置 5 0 に供給されており、主制御装置 5 0 ではエネルギーモニタの出力に基づいてレーザ光のエネルギーパワーを検出し、レーザ制御装置 1 6 B を介して D F B 半導体レーザ 1 6 0 A で発振されるレーザ光の光量を必要に応じて制御したり、D F B 半導体レーザ 1 6 0 A をオフしたりする。

【 0 0 6 4 】

前記吸収セル 1 6 5 は、D F B 半導体レーザ 1 6 0 A の発振波長の絶対波長キャリブレーション、すなわちビームモニタ機構 1 6 4 の絶対波長キャリブレーションのための絶対波長源である。本実施形態では、レーザ光源として発振波長 1 . 5 4 4 μ m の D F B 半導体レーザ 1 6 0 A が用いられている関係から、吸収セル 1 6 5 として、この波長近傍の波長帯域に吸収線が密に存在するアセチレンの同位体を用いられている。

【 0 0 6 5 】

なお、レーザ光の波長のモニタ用の光として、基本波とともにあるいはこれに代えて、上述した波長変換器 1 6 3 の中間波（2 倍波、3 倍波、4 倍波等）あるいは波長変換後の光を選択する場合には、それらの中間波等の波長帯域に吸収線が密に存在する吸収セルを用いれば良い。例えば、波長のモニタ用の光として、3 倍波を選択する場合には、波長 5 0 3 n m ~ 5 3 0 n m の近傍に吸収線が密に存在するヨウ素分子を吸収セルとして用い、そのヨウ素分子の適切な吸収線を選んでその波長を絶対波長とすれば良い。

【 0 0 6 6 】

また、絶対波長源としては、吸収セルに限らず、絶対波長光源を用いても良い。

【 0 0 6 7 】

前記レーザ制御装置 1 6 B は、ビームモニタ機構 1 6 4 の出力に基づいてレーザ光の中心波長及び波長幅（スペクトル半値幅）を検出し、中心波長が所望の値（設定波長）となるように D F B 半導体レーザ 1 6 0 A の温度制御（及び電流制御）をフィードバック制御にて行う。なお、本実施形態では、D F B 半導体レーザ 1 6 0 A の温度を 0 . 0 0 1 $^{\circ}$ C 単位で制御することが可能となっている。

【0068】

また、このレーザ制御装置16Bは、主制御装置50からの指示に応じて、DFB半導体レーザ160Aのパルス出力と連続出力との切替、及びそのパルス出力時における出力間隔やパルス幅などの制御を行うとともに、パルス光の出力変動を補償するように、DFB半導体レーザ160Aの発振制御を行う。

【0069】

このようにして、レーザ制御装置16Bでは、発振波長を安定化して一定の波長に制御したり、あるいは出力波長を微調整する。逆に、このレーザ制御装置16Bは、主制御装置50からの指示に応じて、DFB半導体レーザ160Aの発振波長を積極的に変化させてその出力波長を調整することもある。

【0070】

図1に戻り、前記照明光学系12は、フライアイレンズ等からなる照度均一化光学系、リレーレンズ、可変NDフィルタ、レチクルブラインド、及びダイクロイックミラー等（いずれも不図示）を含んで構成されている。こうした照明光学系の構成は、例えば、特開平10-112433号公報に開示されている。この照明光学系12から射出された露光光ILは、ミラーMによって光路が垂直下方に折り曲げられた後、コンデンサレンズ32を経て、レチクルステージRST上に保持されたレチクルR上の矩形の照明領域42Rを均一な照度分布で照明する。

【0071】

前記レチクルステージRST上にレチクルRが載置され、不図示のバキュームチャック等を介して吸着保持されている。レチクルステージRSTは、水平面（XY平面）内で微小駆動可能であるとともに、レチクルステージ駆動部49によって走査方向（ここでは図1の紙面左右方向であるY方向とする）に所定ストローク範囲で走査されるようになっている。この走査中のレチクルステージRSTの位置及び回転量は、レチクルステージRST上に固定された移動鏡52Rを介して外部のレーザ干渉計54Rによって計測され、このレーザ干渉計54Rの計測値が主制御装置50に供給されるようになっている。

【0072】

なお、レチクルRに用いる材質は、露光光ILの波長によって使い分ける必要がある。すなわち、波長193nmの露光光を用いる場合には合成石英を用いることができるが、波長157nmの露光光を用いる場合は、ホタル石、フッ素がドーブされた合成石英、あるいは水晶などで形成する必要がある。

【0073】

前記投影光学系PLは、例えば両側テレセントリックな縮小系であり、共通のZ軸方向の光軸AXを有する複数枚のレンズエレメントから構成されている。また、この投影光学系PLとしては、投影倍率 β が例えば $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ などのものが使用されている。このため、前記の如くして、露光光ILによりレチクルR上の照明領域42Rが照明されると、そのレチクルRに形成されたパターンが投影光学系PLによって投影倍率 β で縮小された像が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハW上のスリット状の露光領域42Wに投影され転写される。

【0074】

前記XYステージ14は、ウエハステージ駆動部56によって走査方向であるY方向及びこれに直交するX方向（図1における紙面直交方向）に2次元駆動されるようになっている。このXYステージ14上に搭載されたZチルトステージ58上に不図示のウエハホルダを介してウエハWが真空吸着等により保持されている。Zチルトステージ58は、例えば3つのアクチュエータ（ピエゾ素子又はボイスコイルモータなど）によってウエハWのZ方向の位置（フォーカス位置）を調整すると共に、XY平面（投影光学系PLの像面）に対するウエハWの傾斜角を調整する機能を有する。また、XYステージ14の位置は、Zチルトステージ58上に固定された移動鏡52Wを介して外部のレーザ干渉計54Wにより計測され、このレーザ干渉計54Wの計測値が主制御装置50に供給されるようになっている。

【0075】

ここで、移動鏡は、実際には、X軸に垂直な反射面を有するX移動鏡とY軸に垂直な反射面を有するY移動鏡とが存在し、これに対応してレーザ干渉計もX軸位置計測用、Y軸位置計測用、及び回転（ヨーイング量、ピッチング量、ローリ

ング量を含む)計測用のものがそれぞれ設けられているが、図1では、これらが代表的に、移動鏡52W、レーザ干渉計54Wとして示されている。

【0076】

Zチルトステージ58上には、後述するレチクルアライメント等を行う際に使用される基準マーク板FMが設けられている。この基準マーク板FMは、その表面がウェハWの表面とほぼ同一の高さとされている。この基準マーク板FMの表面には、レチクルアライメント用基準マーク、ベースライン計測用基準マーク等の基準マークが形成されている。

【0077】

また、図1では図面の錯綜を避ける観点から図示が省略されているが、この露光装置10は、実際にはレチクルアライメントを行うためのレチクルアライメント系を備えている。

【0078】

レチクルRのアライメントを行う場合には、まず主制御装置50によりレチクルステージ駆動部49、ウェハステージ駆動部56を介してレチクルステージRST及びXYステージ14が駆動され、矩形の露光領域42W内に基準マーク板FM上のレチクルアライメント用基準マークが設定され、その基準マークにレチクルR上のレチクルマーク像がほぼ重なるようにレチクルRとZチルトステージ58との相対位置が設定される。この状態で、主制御装置50によりレチクルアライメント系を用いて両マークが撮像され、主制御装置50では、その撮像信号を処理して対応する基準マークに対するレチクルマークの投影像のX方向、Y方向の位置ずれ量を算出する。かかるマークの撮像にあたっては、投影光学系PLを介した像を撮像することになるので、露光光の波長とほぼ同一の波長の光が使用される。

【0079】

また、上記のレチクルのアライメントの結果得られた基準マークの投影像の検出信号(画像信号)に含まれるコントラスト情報に基づいてフォーカスオフセットやレベリングオフセット(投影光学系PLの焦点位置、像面傾斜など)を求めることも可能である。

【0080】

また、本実施形態では、上記のレチクルアライメント時に、主制御装置50によって、投影光学系PLの側面に設けられた不図示のウエハ側のオフアクシス・アライメントセンサのベースライン量（レチクル投影位置とアライメントセンサとの相対位置関係）に関する基準マーク板上の所定マークを使用した計測も行われる。

【0081】

更に、本実施形態の露光装置10では、図1に示されるように、主制御装置50によってオン・オフが制御される光源を有し、投影光学系PLの結像面に向けて多数のピンホールまたはスリットの像を形成するための結像光束を、光軸AXに対して斜め方向より照射する照射光学系60aと、それらの結像光束のウエハW表面での反射光束を受光する受光光学系60bとからなる斜入射光式の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）が設けられている。なお、本実施形態と同様の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）の詳細な構成は、例えば特開平6-283403号公報等の開示されている。

【0082】

走査露光時等に、主制御装置50では、受光光学系60bからの各計測点について検出されたZ位置に基づいて、露光領域内に存在するショット領域の一部の表面のZ位置及び傾斜量を逐次算出しつつ、この算出結果に基づいてZチルトステージ58のZ位置を不図示の駆動系を介して制御することにより、オートフォーカス（自動焦点合わせ）及びオートレベリングを実行する。

【0083】

前記主制御装置50は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リード・オンリ・メモリ）、RAM（ランダム・アクセス・メモリ）等から成るいわゆるマイクロコンピュータ（又はワークステーション）を含んで構成され、これまでに説明した各種の制御を行う他、露光動作が的確に行われるように、例えばレチクルRとウエハWの同期走査、ウエハWのステッピング、露光タイミング等を制御する。また、本実施形態では、主制御装置50は、後述するように走査露光の際の露光量の制御を行ったりする等の他、装置全体を統括制御する。

【0084】

具体的には、主制御装置50は、例えば走査露光時には、レチクルRがレチクルステージRSTを介して+Y方向（又は-Y方向）に速度 $V_R = V$ で走査されるのに同期して、XYステージ14を介してウエハWが露光領域42Wに対して-Y方向（又は+Y方向）に速度 $V_W = \beta \cdot V$ （ β はレチクルRからウエハWに対する投影倍率）で走査されるように、~~レーザ干渉計54R、54Wの計測値に~~基づいてレチクルステージ駆動部49、ウエハステージ駆動部56をそれぞれ介してレチクルステージRST、XYステージ14の位置及び速度をそれぞれ制御する。また、ステッピングの際には、主制御装置50ではレーザ干渉計54Wの計測値に基づいてウエハステージ駆動部56を介してXYステージ14の位置を制御する。

【0085】

次に、本実施形態の露光装置10において所定枚数（N枚）のウエハW上にレチクルパターンの露光を行う場合の露光シーケンスについて主制御装置50の制御動作を中心として説明する。

【0086】

まず、主制御装置50では、不図示のレチクルローダを用いて露光対象のレチクルRをレチクルステージRST上にロードする。

【0087】

次いで、レチクルアライメント系を用いてレチクルアライメントを行うとともに、ベースライン計測を行う。

【0088】

次に、主制御装置50では、不図示のウエハ搬送系にウエハWの交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及びXYステージ14上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換（ステージ上にウエハが無い場合は、単なるウエハロード）が行われ、次いでいわゆるサーチアライメント及びファインアライメント（EGA等）の一連のアライメント工程の処理を行う。これらのウエハ交換、ウエハアライメントは、公知の露光装置と同様に行われるので、ここではこれ以上の詳細な説明は省略する。

【0089】

次に、上記のアライメント結果及びショットマップデータに基づいて、ウエハW上の各ショット領域の露光のための走査開始位置にウエハWを移動させる動作と、前述した走査露光動作とを繰り返し行って、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハW上の複数のショット領域にレチクルパターンを転写する。かかる走査露光中に、主制御装置50は、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された目標積算露光量をウエハWに与えるため、光量制御装置16Cに指令を与え、露光光量の制御を行う。

【0090】

1枚目のウエハWに対する露光が終了すると、主制御装置50では、不図示のウエハ搬送系にウエハWの交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及びXYステージ14上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換が行われ、以後上記と同様にしてその交換後のウエハに対してサーチアライメント、ファインアライメントを行う。

【0091】

そして、上記と同様に、このウエハW上の複数のショット領域にステップ・アンド・スキャン方式でレチクルパターンを転写する。

【0092】

なお、露光条件及び／又はレチクルパターンの変更によって照度が変わるときは、ウエハ（レジスト）に適正な露光量が与えられるように、前述した周波数とピークパワーとの少なくとも一方を制御することが望ましい。このとき、周波数及びピークパワーの少なくとも一方に加えてレチクル及びウエハの走査速度を調整するようにしてもよい。

【0093】

以上説明したように、本実施形態に係る光源装置16によれば、フォスフェイトガラスを主材とし、高密度に希土類元素が添加された増幅用ファイバ175を使用するので、短い長さの増幅用ファイバ175によって高い増幅率で入射光を増幅することができる。このため、増幅用ファイバ175を経由することによって発生する偏光状態の変化を低減しつつ、高強度の光を波長変換器163に供給

することができる。また、増幅にあたって光が経由する経路の長さが短くなるので、誘導ラマン散乱や自己位相変調によるスペクトルの広がりも抑制することができる。したがって、簡易な構成で狭帯域の波長変換光を効率良く発生することができる。

【0094】

また、増幅用ファイバ175を直線状に敷設しているので、偏光状態の変化の原因となる径方向の応力の非対称性の発生を防止することができるので、入射時の偏光状態をほぼ維持した出力光を得ることができる。

【0095】

また、増幅用ファイバ175をほぼ密閉構造を有する容器176に収納しているので、偏光状態の変化の原因となる増幅用ファイバ175の周囲環境の変化を防止することができるので、安定した波長変換を行うことができる。

【0096】

また、波長変換器163を、入射光の波長変換を行う非線形光学結晶（183，186，187，195，198）を含む構成としているので、高強度の波長変換光を得ることができる。

【0097】

また、本実施形態に係る露光装置10は、微細パターンの転写に適した紫外光を効率的に発生する上記の光源装置16を使用しているので、効率的にパターンをウエハWに転写することができる。

【0098】

上記実施形態の露光装置10は、露光装置10を構成する各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、照明光学系12や投影光学系PL等の各種光学系については光学的精度を達成するための調整（例えば、光軸合わせ）、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。このうち、各種光学系の特性の調整にあたっては、調整用（検査用）光源装置として高出力を必要としないので、上述の光源装置16におい

て、1つあるいは少数のファイバ増幅器167を含むように簡略化した光源装置を使用することができる。かかる場合には、露光光の波長とほぼ同一の波長の光を簡易に発生し、調整に使用することができるので、精度の良い調整を簡易な構成で低価格の光源装置によって行うことができる。なお、ファイバ増幅器167を1つのみ含むように簡略化するときは、分岐器166も不要となる。

【0099】

以上のようにして組み立てられた各種サブシステムを相互に、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等することにより、露光装置10を組み立てる。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。かかる総合調整においても、必要に応じて上記の簡略化した光源装置を使用することができる。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0100】

次に、本実施形態の露光装置及び方法を使用したデバイスの製造について説明する。

【0101】

図5には、本実施形態におけるデバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の生産のフローチャートが示されている。図5に示されるように、まず、ステップ201（設計ステップ）において、デバイスの機能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ202（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ203（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

【0102】

次に、ステップ204（ウエハ処理ステップ）において、ステップ201～ステップ203で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ205

(組立ステップ)において、ステップ204において処理されたウエハを用いてチップ化する。このステップ205には、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング) パッケージング工程(チップ封入)等の工程が含まれる。

【0103】

最後に、ステップ206(検査ステップ)において、ステップ205で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

【0104】

図6には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ204の詳細なフロー例が示されている。図6において、ステップ211(酸化ステップ)においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ212(CVDステップ)においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ213(電極形成ステップ)においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ214(イオン打込みステップ)においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ211～ステップ214それぞれは、ウエハプロセスの各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

【0105】

ウエハプロセスの各段階において、前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ215(レジスト処理ステップ)において、ウエハに感光剤を塗布し、引き続き、ステップ216(露光ステップ)において、上記で説明した露光装置10によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。次に、ステップ217(現像ステップ)においては露光されたウエハを現像し、引き続き、ステップ218(エッチングステップ)において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ219(レジスト除去ステップ)において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

【0106】

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【 0 1 0 7 】

以上のようにして、精度良く微細なパターンが形成されたデバイスが、高い量産性で製造される。

【 0 1 0 8 】

なお、上記の実施形態では、レーザ光源 1 6 0 A として、DFB 半導体レーザ等の半導体レーザに限らず、例えば発振波長が 9 9 0 n m 付近のイッテルビウム (Y b) ・ ドープ ・ ファイバーレーザなどを用いることもできる。

【 0 1 0 9 】

また、上記の実施形態では、増幅用ファイバとして E r ドープファイバを採用したが、Y b ドープファイバその他の希土類元素ドープファイバを採用することも可能である。

【 0 1 1 0 】

また、上記の実施形態では、増幅用光導波路部材として光ファイバ型部材を使用した、これ以外のもの、例えば平面型導波路型部材を使用することも可能である。

【 0 1 1 1 】

また、光増幅部において並列に配置されるファイバ増幅器の数は任意でよく、本発明に係る光源装置が適用される製品、例えば露光装置で要求される仕様（ウエハ上での照度）、及び光学性能、すなわち照明光学系や投影光学系の透過率、波長変換器の変換効率、及び各光経路の出力などに応じてその本数を決定すればよい。かかる場合であっても、前述した光変調装置から出力されるパルス光の周波数制御、ピークパワー制御による光量、露光量の制御は好適に適用できる。

【 0 1 1 2 】

さらに上記実施形態では、紫外光の波長を、A r F エキシマレーザとほぼ同一に設定するものとしたが、その設定波長は任意でよく、この設定すべき波長に応じて、レーザ光源 1 6 0 A の発振波長や波長変換器 1 6 3 の構成及び高調波の倍率などを決定すればよい。なお、設定波長は、一例として、ウエハ上に転写すべきパターンのデザインルール（線幅、ピッチなど）に応じて決定するようにしてもよく、さらにはその決定に際して前述の露光条件やレチクルの種類（位相シフ

ト型か否か)などを考慮してもよい。

【0113】

また、上記実施形態中では特に説明をしなかったが、本実施形態のように、193nm以下の露光波長により露光を行う装置の場合には、光束通過部分にはケミカルフィルタを通過したクリーンエアーや、ドライエアー、N₂ガス、若しくはヘリウム、アルゴン、クリプトン等の不活性ガスを充填させあるいはフッ素を充填せたり、該光束通過部分を真空にする等の処置が必要となる。

【0114】

また、上記の実施形態では、本発明に係る光源装置がステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に適用された場合について説明したが、露光装置以外でデバイス製造工程などに用いられる装置、例えば、ウエハ上に形成された回路パターンの一部（ヒューズなど）を切断するために用いられるレーザリペア装置などにも本発明に係る光源装置を適用することができる。また、本発明は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に限らず、静止露光型、例えばステップ・アンド・リピート方式の露光装置（ステッパなど）にも好適に適用できるものである。更にはステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置、ミラープロジェクション・アライナーなどにも適用できる。

【0115】

また、上記の実施形態では、本発明に係る光源装置が露光用照明光を発生する光源装置として使用される例を説明したが、露光用照明光とほぼ同一の波長の光を必要とする上述のレチクルアライメント用の光源装置として使用することも可能である。この場合には、上述の簡略化された光源装置を使用することは勿論である。

【0116】

勿論、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（CCDなど）、マイクロマシン、DNAチップの製造、さらにはレチクルやマスクの製造などに用いら

れる露光装置などにも本発明を適用することができる。

【0 1 1 7】

さらに、露光装置以外の装置、例えば光学式検査装置等における光源装置としても、本発明の光源装置は利用可能である。また、眼底に紫外光を照射して視力矯正を行う装置などの光源装置としても利用可能であり、さらにはエキシマレーザが適用される各種装置でも、本発明の光源装置は利用可能である。

【0 1 1 8】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明の光源装置によれば、フอสフェイトガラスを主材とし、高密度に希土類元素が添加された光導波路部材を使用するので、簡単な構成で所定の波長の光を効率良く発生することができる。

【0 1 1 9】

また、本発明の露光装置によれば、露光光の波長を含む所定幅の波長帯に属する波長の光を発生する光源装置として本発明の光源装置を備えるので、露光光の発生や、露光光とほぼ同一の波長の光を必要とする場合に、効率良く狭帯域の光を供給することができる。

【0 1 2 0】

また、本発明の露光装置の製造方法によれば、露光光が介する光学系の特性の調整にあたって、本発明の光源装置が発生した前記露光光の波長を含む所定幅の波長帯に属する波長の光を使用するので、当該光学系の特性の調整を、精度良くかつ簡易に行うことができる。

【0 1 2 1】

また、本発明のデバイス製造方法によれば、リソグラフィ工程において、本発明の露光装置を用いて露光を行うので、高集積度で高性能のデバイスを、効率良く製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】

図 1 の光源装置の内部構成を主制御装置とともに示すブロック図である。

【図 3】

図 2 の光増幅部を構成するファイバ増幅器及びその周辺部を、波長変換器の一部とともに概略的に示す図である。

【図 4】

図 2 の波長変換器の構成を示す図である。

【図 5】

図 1 に示された装置を用いたデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図 6】

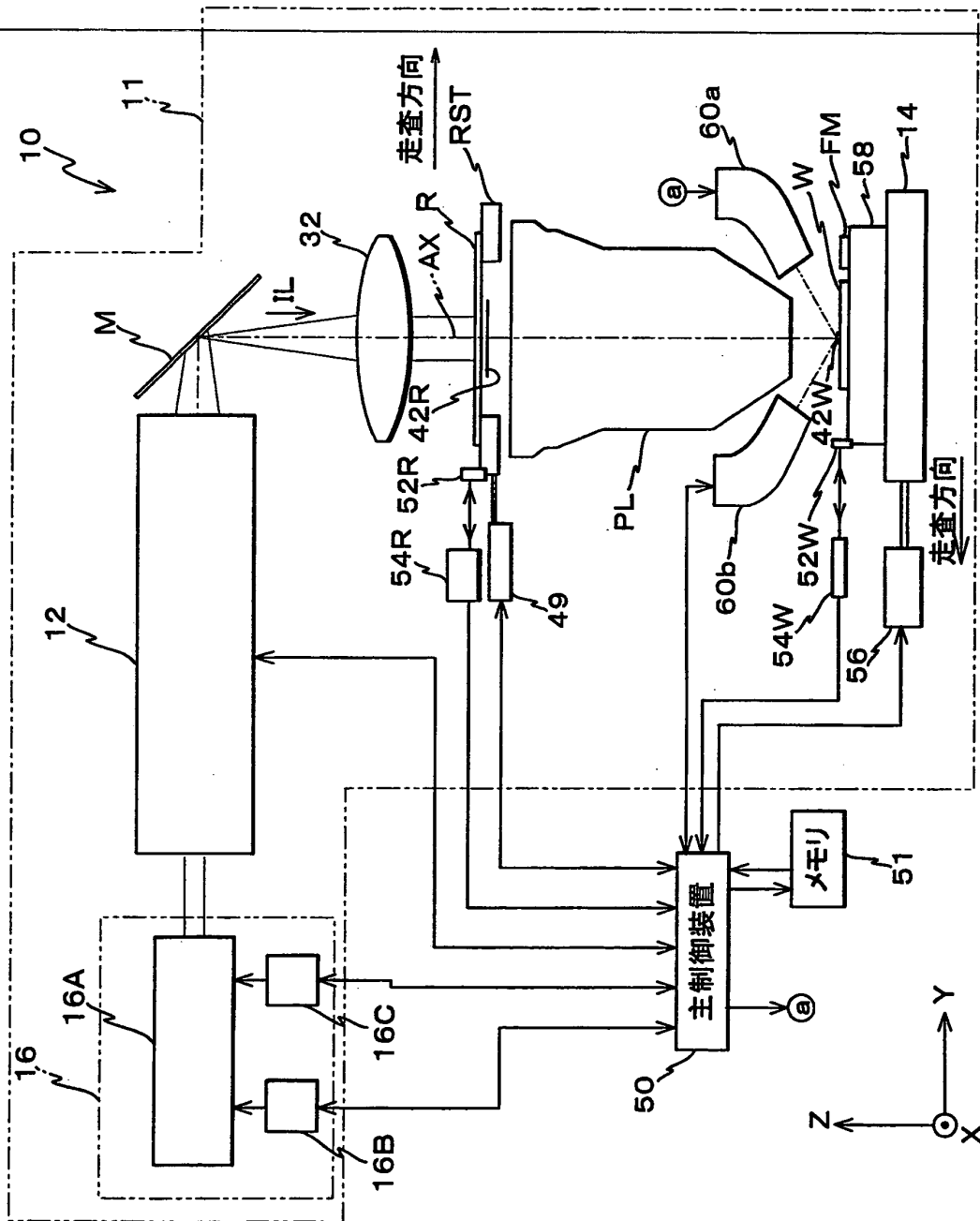
図 5 のウエハ処理ステップにおける処理のフローチャートである。

【符号の説明】

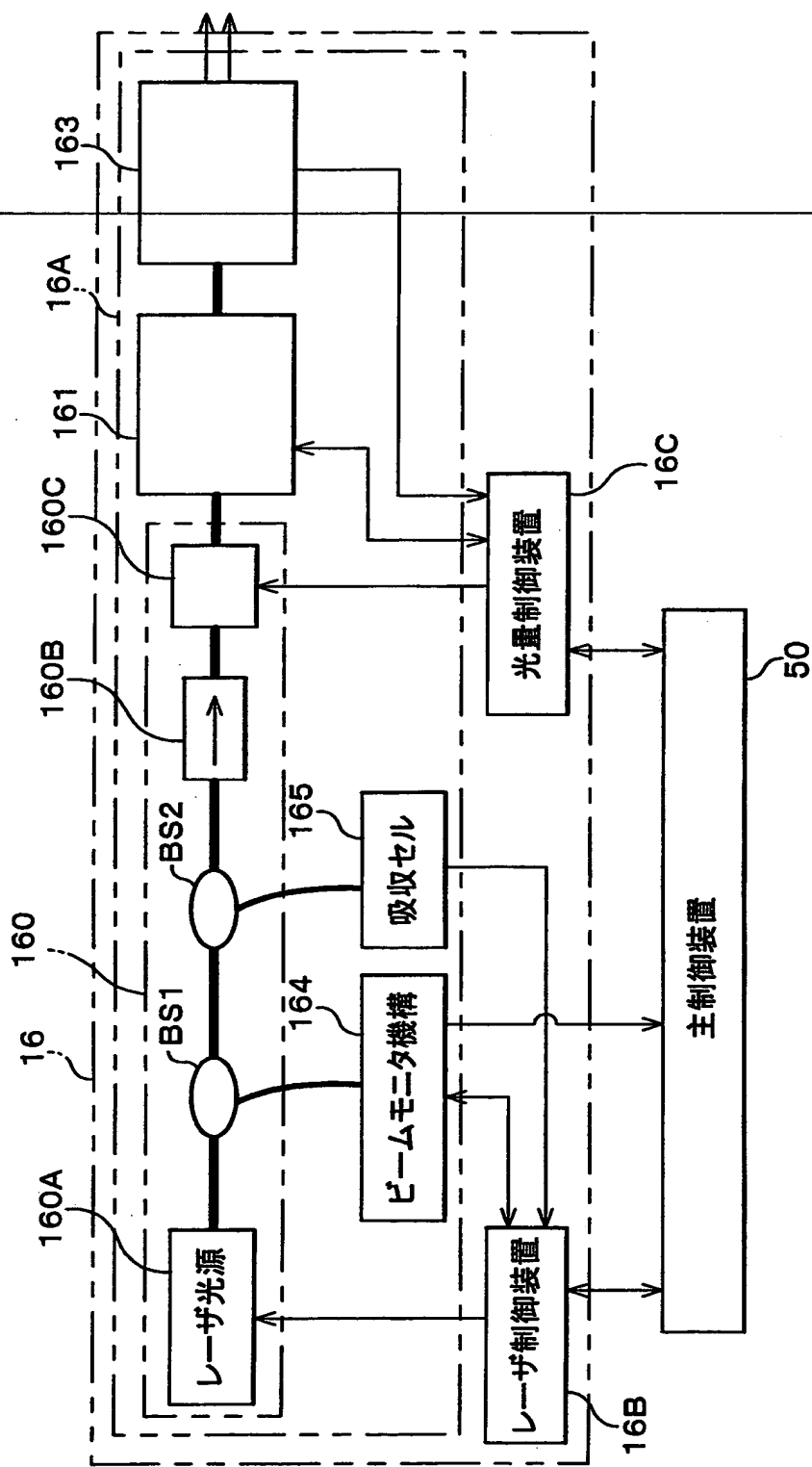
1 0 …露光装置、1 6 …光源装置、1 6 7 …ファイバ増幅器（光増幅器）、1 6 3 …波長変換器、1 7 5 …増幅用ファイバ（光導波路部材）、W …ウエハ（基板）。

【書類名】 図面

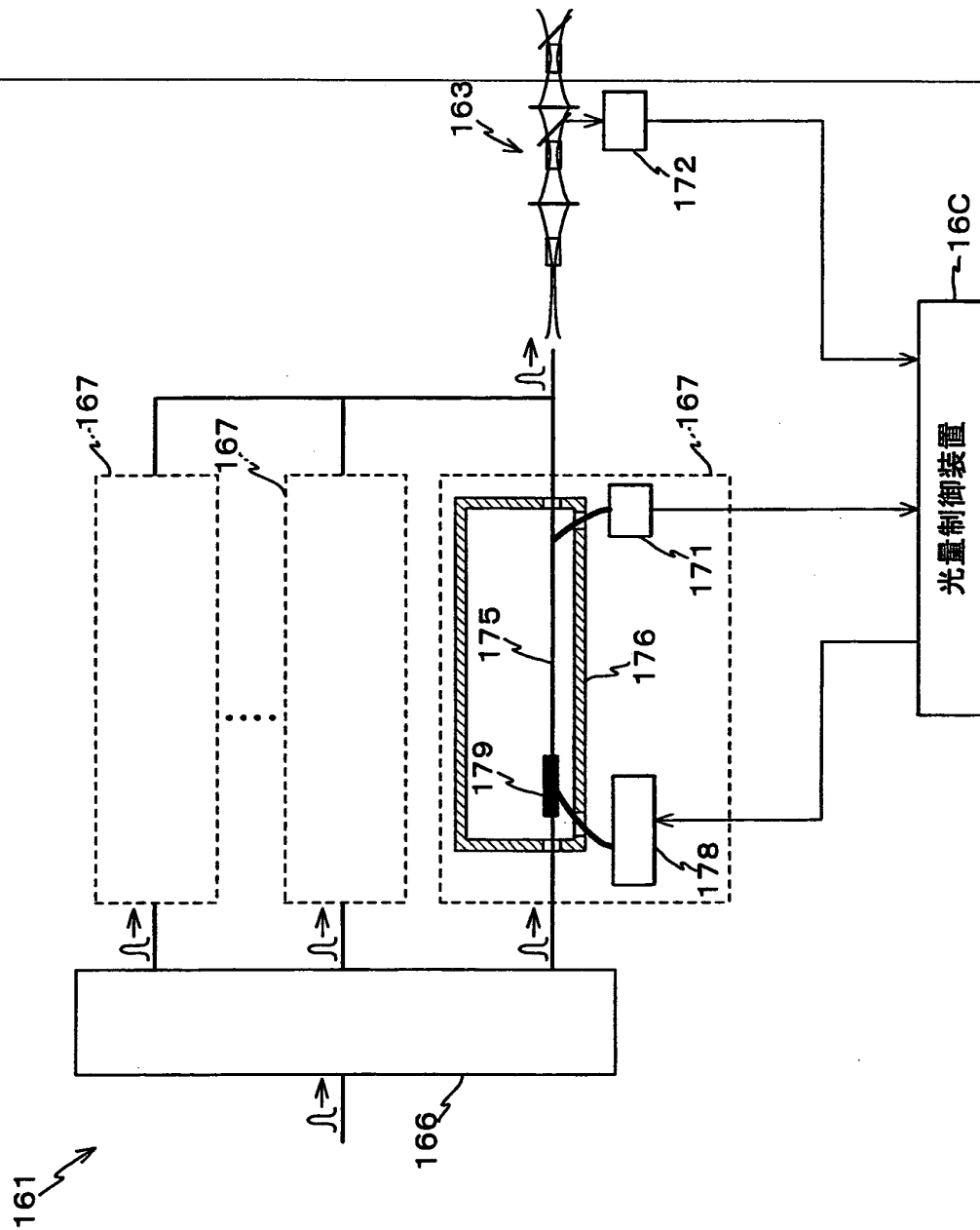
【図 1】



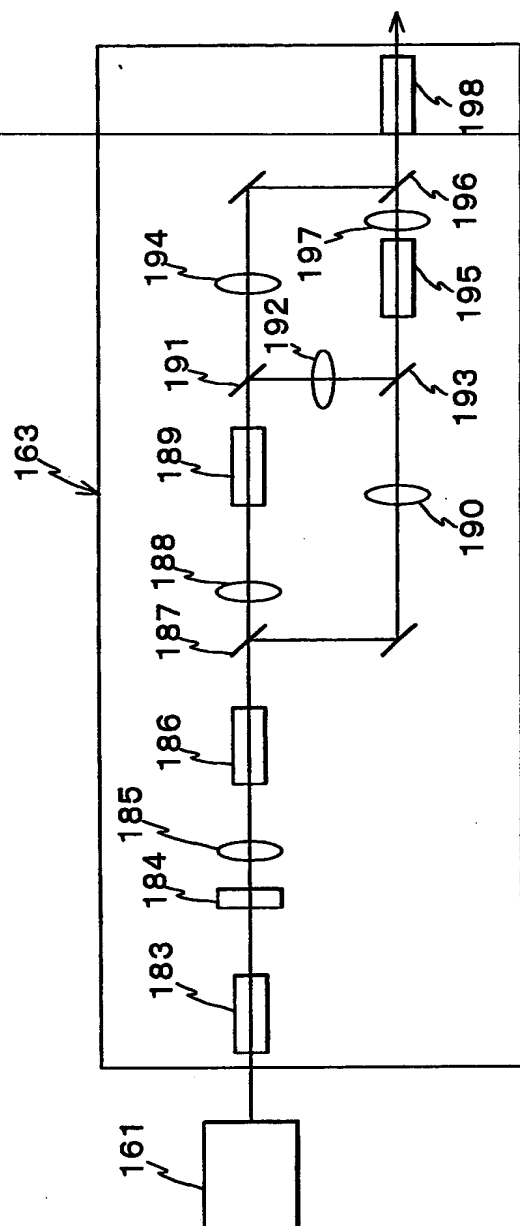
【図 2】



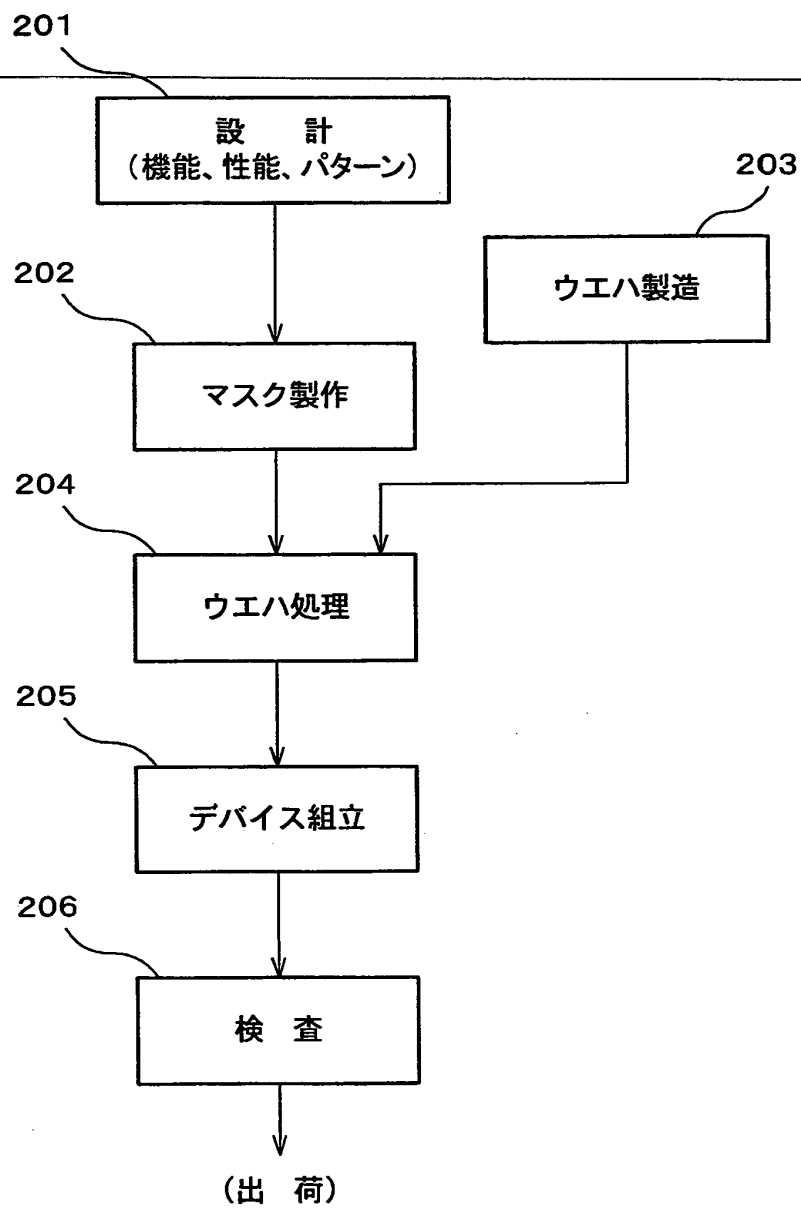
【図3】



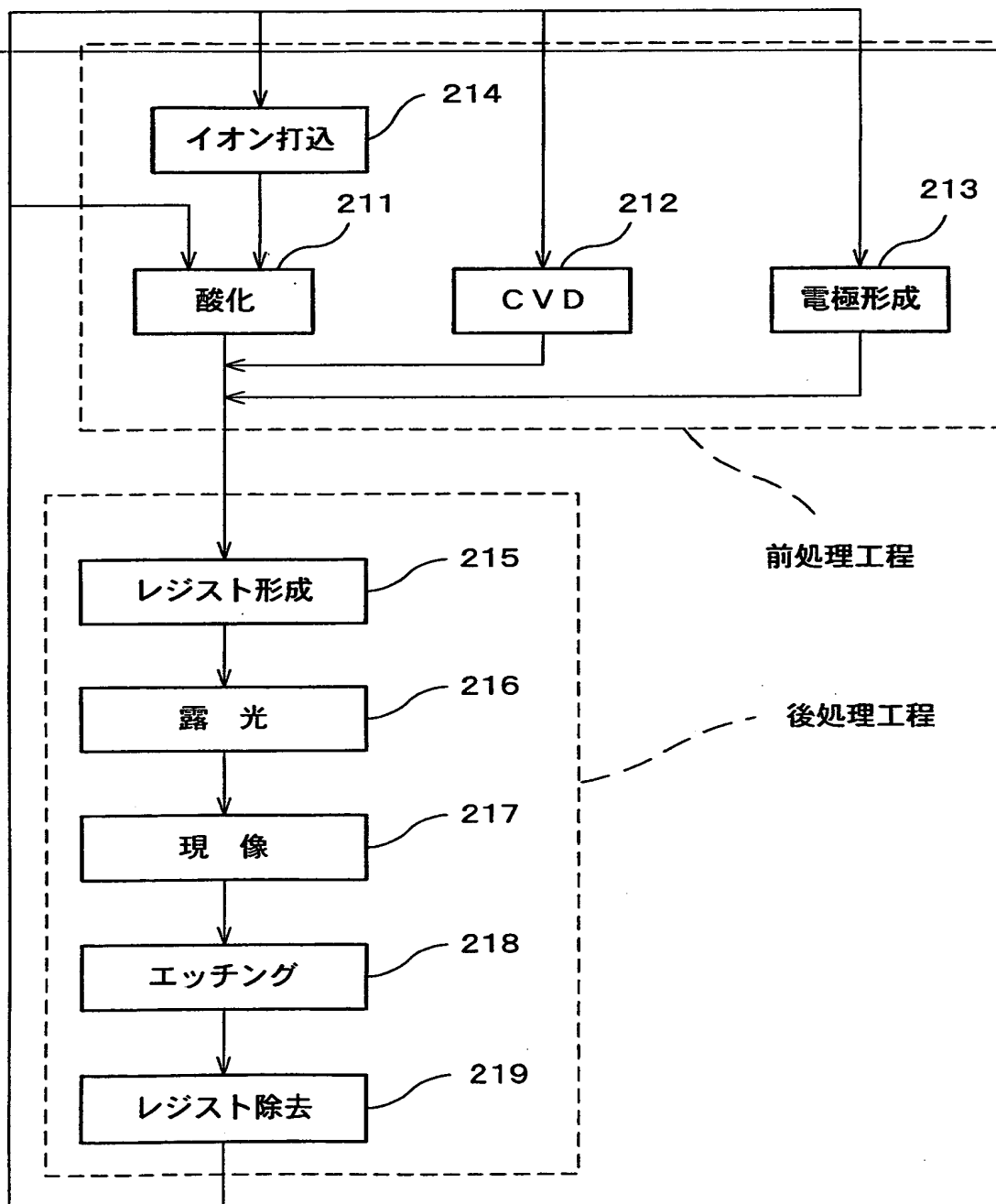
【図4】



【図5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 簡単な構成で所定の波長の光を効率良く発生する。

【解決手段】 フォスフェイトガラスを主材とし、高密度に希土類元素が添加された光導波路部材175を使用して光増幅器167を構成する。この結果、短い長さの光導波路部材175によって高い増幅率で入射光を増幅することができる。このため、光導波路部材を経由することによって発生する偏光状態の変化を低減しつつ、高輝度の光を波長変換器163に供給することができる。また、増幅にあたって光が経路する経路の長さが短くなるので、誘導ラマン散乱や自己位相変調によるスペクトルの広がりも抑制することができる。したがって、簡易な構成で狭帯域の波長変換光を効率良く発生することができる。

【選択図】 図3

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2000-153320
受付番号	50000640637
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成12年 5月25日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成12年 5月24日

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000004112]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
氏 名	株式会社ニコン